

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR RESPECTO A LA TEMPERATURA DEL AGUA EN LA BATEA

Javier Marchesi¹, Pablo Galimberti¹, Nicolas Tobares¹, Jorge Adaro¹, Amílcar Fasulo^{1 y 2}

1 Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nac. N° 36 Km 601
 (5800) Río Cuarto Tel. 0358 – 4676488 / 259
 Provincia de Córdoba-República Argentina
 E-mail: jmarchesi@ing.unrc.edu.ar
 nico_tobarescba@hotmail.com
 aadaro@ing.unrc.edu.ar
 pgalimberti@ing.unrc.edu.ar

2 Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera
 (5700) San Luis. Tel. 2652 424689 int. 103
 E-mail: afasulo@unsl.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se aborda experimentalmente el comportamiento de un destilador solar asistido con colectores solares planos auxiliares para el precalentamiento del agua en la batea y su influencia en el incremento de la producción. Se midieron durante seis meses el destilado instantáneo y total diario, la temperatura ambiente, la temperatura del agua en la batea y en el vidrio, como así también la radiación solar. Este trabajo fue llevado a cabo en la planta experimental de destilación solar que el grupo de energía solar G.E.S. posee en la Universidad Nacional de Río Cuarto. Dichos datos fueron evaluados permitiendo apreciar claramente las oscilaciones de la producción para su comparación con las temperaturas en el destilador. Estos datos permitieron determinar una expresión para el cálculo de la producción en función de la temperatura del agua en la batea. Se presenta dicha expresión y los gráficos correspondientes.

Palabras clave: Desalinización, Destiladores Asistidos, Destiladores Solares, Producción.

INTRODUCCIÓN:

El suministro de agua potable suficiente para el consumo humano es uno de los problemas mas urgentes que se plantean a futuro. El Programa de la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha hecho un llamamiento para que se reconozca como un derecho humano el acceso mínimo a 20 litros de agua limpia al día, que debería ser gratuita para la población pobre. En su Informe de Desarrollo Humano 2006, el PNUD subraya que mientras un habitante de Estados Unidos o del Reino Unido gasta 600 litros de agua diarios, muchas personas pobres sobreviven con menos de cinco litros de agua contaminada al día. Existen 2 mil 400 millones de personas que no tienen hoy acceso a servicios sanitarios y 30 mil personas mueren cotidianamente por causa de enfermedades debidas a la ausencia de agua potable y servicios sanitarios. Las previsiones, catastróficas: en 20 años (hacia el 2025) más de 3 mil millones de seres humanos -el 80 % en los países "periféricos"- sufrirán la falta de ese vital líquido.

El Gobierno argentino se ha fijado las siguientes metas para alcanzar en el sector de agua potable y saneamiento: Reducir en dos terceras partes la proporción de la población sin acceso a agua potable y a desagües cloacales entre los años 1990 y 2015. Estas metas implican que para el año 2015 los niveles de acceso serán del 90% de la población con agua potable y del 65% con acceso a desagües cloacales. (Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales, Presidencia de la Nación) :



La realidad cordobesa no es ajena a la problemática planetaria de escasez de agua dulce. Las cuencas hídricas de Córdoba manifiestan características regionales y climáticas particulares. La zona Sudeste está suficientemente abastecida pero padece serios problemas de contaminación natural. En cambio la zona Noroeste es desértica y presenta un marcado déficit pluvial. La disponibilidad de los recursos hídricos de la provincia puede analizarse teniendo en cuenta dos grandes grupos: El agua superficial cuya posibilidad de extracción, según estudios recientes, ronda los 100 m³ / seg. Comparados con el total nacional, la participación de la provincia es de 0.5% aproximadamente, lo que la convierte en una de las regiones mas pobres del país en lo que a recursos hídricos se refiere. Esta carencia se profundiza si se tiene en cuenta la superficie del territorio provincial. El agua subterránea, por otro lado, es capaz de proporcionar una dotación de entre 8 y 10 m³ / seg. . Estos escasos recursos se ven agravados por el efecto de la contaminación producida por desagües industriales y cloacales que se vuelcan a cauces superficiales y napas subterráneas, principalmente en los centros de alta densidad poblacional.

Debido a la baja producción de destiladores solares de batea básicos que en nuestra zona alcanzan los 4 litros por día en meses de verano, bajando a menos de 1 litro en invierno (Marchesi et. Al 2007), es que se han estudiado diversas formas de aumentar la temperatura del agua en la batea para aumentar su producción. Algunos autores asistieron experimentalmente al destilador con colectores solares acumuladores (Esteban et. Al 2000, Esteban et. Al 2002.), en otros casos se agregaron espejos para aumentar la radiación solar incidente (Fasulo et. Al 2004a), o resistencia eléctricas para aumentar dicha temperatura (Fasulo et. Al 2004b). En otros casos, varios autores realizaron cálculos teóricos para predecir la producción de destiladores asistidos con colectores planos y tanque de almacenaje del agua de batea (Voropoulos et. Al 2003, Voropoulos et. Al 2004, Ben Bacha et. Al 2007), con un colector solar acumulador (Ducculi et. Al 2008), o con láminas reflectoras, para aumentar la radiación solar en la batea (M.E. El-Swify et. Al 2002, Tanaka et. Al 2007).

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL:

El dispositivo experimental empleado se muestra en la figura 1, el que consiste en un módulo de destilador con una superficie de batea de 1 m^2 y con cubierta asimétrica desmontable. de vidrio de espesor 0.004 m. Este diseño solo permite una única orientación para su operación, la que corresponde a su eje puesto en la dirección Este-Oeste. En estas condiciones casi toda la radiación solar ingresará al destilador por la placa de vidrio principal. A este destilador se le adosó en su parte inferior un Tanque Acumulador de Acero Inoxidable cuyas medidas son 0.8 m de altura por 0.8 m de diámetro. La batea tiene en su base una abertura circular de igual diámetro que el tanque y es por donde se comunican ambas partes. (Fasulo et. al. 2001). La alimentación es por la parte superior del tanque, luego de que el agua se precaliente en dos colectores solares, colocados en paralelo, de placa plana de 2 m^2 de superficie cada uno, orientados al Norte con un ángulo de inclinación de 44° .

En la figura 2 se muestra una imagen del equipo ensayado para este trabajo. Para la medición de temperatura en las distintas partes del destilador, se utilizaron termocuplas del tipo T, las que fueron conectadas a un datalogger "FLUKE netdaq 2640". Para la recolección del producido por el destilador, se utilizó un recipiente plástico colocado sobre una balanza electrónica del tipo comercial "Kretz mod. 3200E" de capacidad 31 Kg. que fue adaptada en el laboratorio para ser reconocida por el adquiredor de datos FLUKE.

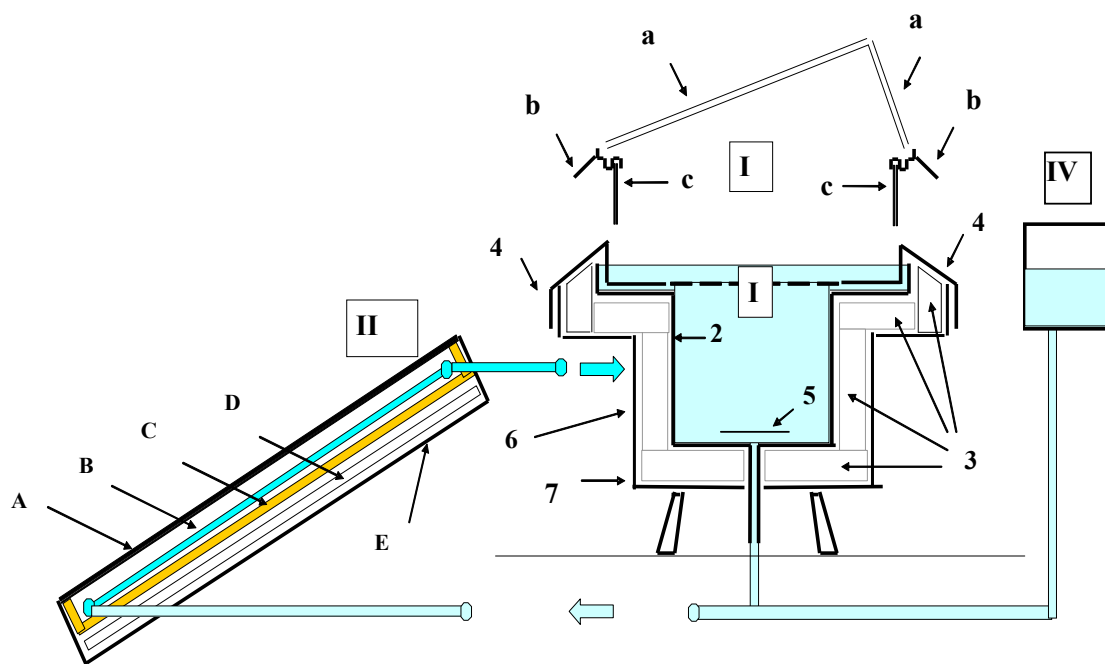


Figura 1. Diagrama del destilador solar asistido térmicamente. (fuera de escala y principales partes separadas): (I) Batea con acumulador. (II) Cubierta vidriada asimétrica desmontable. (III) Colector solar plano. (IV) Tanque de alimentación y control del nivel de la batea. En (I) son: 2 tanque cilíndrico, prolongación de la batea. 3 Aislantes de poliestireno expandido. 4 Manta de material plástico que cubre el fondo de la batea y que vuelca hacia los laterales para cubrir la parte superior de sus aislaciones (el sector del círculo que cubre el cilindro perforaciones). 5 Placa difusora. 6 Cubierta metálica para la protección del material aislante. 7 Soporte para elevación y nivelación. En (II) son: a Vidrio plano de 0.004 m. b Moldura de acero inoxidable que contiene el canal colector del destilado, el canal invertido para alojar las placas de soporte y sellado de la cubierta vidriada con la batea. c Placa compuesta de material aislante (policarbonato y vidrio) que permiten el cierre entre la cubierta vidriada y la batea, encerrando la atmósfera contenida entre ambas. En (III) son: A cubierta de policarbonato celular. B Receptor - conversor de la radiación solar. C Aislante térmico (lana de vidrio). D aislante térmico (poliestireno expandido). E Caja metálica.



Figura 2. Vista del destilador solar asistido por colectores solares planos en el laboratorio del G.E.S. en la Universidad de Rio Cuarto

EXPERIENCIAS:

Los datos se comenzaron a tomar en el mes de abril de 2008, extendiéndose hasta el mes de noviembre del mismo año excepto los meses de Agosto y Septiembre. Los diferentes datos fueron tomados en intervalos de 5 minutos.

TEMPERATURAS Y PRODUCCIONES:

El gráfico 3 muestra las temperaturas del agua de batea (T BAT), la diferencia de temperaturas vidrio- batea (TB-TV), y la producción horaria (PROD) obtenidas experimentalmente para algunos días típicos del mes de Noviembre de 2008 en función del tiempo local en hs. Se percibe que con la salida del sol la temperatura de la batea comienza a crecer en forma rápida, la producción también aumenta de la misma forma, no así la diferencia de temperaturas entre la batea y la cubierta como se ve en el gráfico, debido a que en esos momentos la temperatura de la cubierta vidriada crece mas rápido que la del agua debido a que recibe radiación en forma directa.

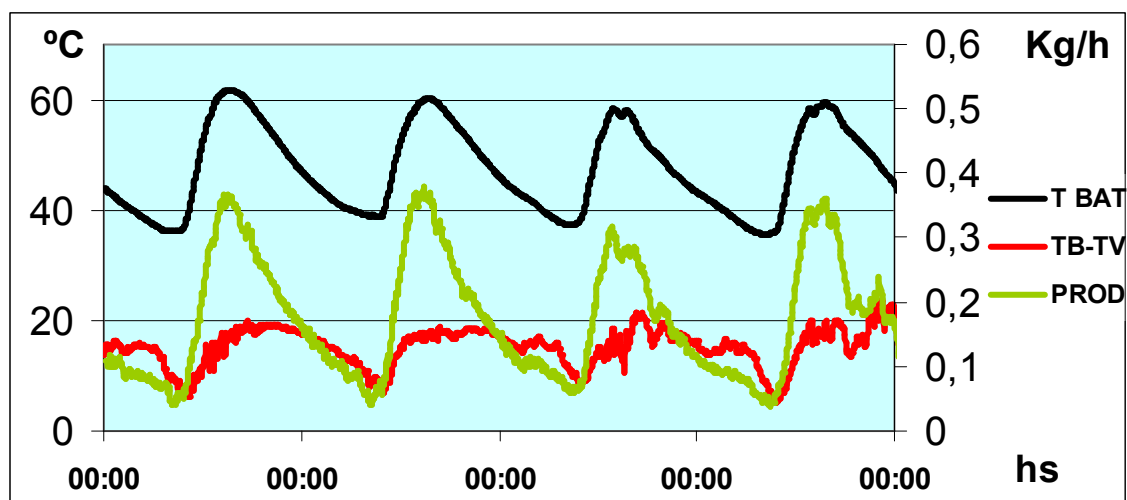


Figura 3. Producción horaria de destilado, temperaturas de agua de batea y diferencia de temperaturas vidrio-batea en función de la hora local para el mes de Noviembre de 2008.

Esa diferencia de temperaturas posteriormente crece y se mantiene en valores entre 16 y 20 °C durante el resto del día hasta que el agua en la batea se enfría junto con la de la cubierta, tendiendo ambas a la temperatura ambiente hacia el inicio del nuevo día. En el mismo gráfico se observa claramente que la tendencia en la oscilación de la producción es en coincidencia con la temperatura del agua en la batea y que no ocurre lo mismo con respecto a la diferencia de temperaturas vidrio-batea. Se observa que con temperaturas de batea superiores a 60 °C la producción instantánea es de 0.35 Kg/h y que dicha producción alcanza mínimos de 0.04 Kg/h para temperaturas de 35 °C en la batea. Es interesante observar que en ningún momento la producción se hace nula, sino que el destilador sigue produciendo a partir de la energía almacenada como agua caliente en el tanque acumulador.

En el caso de la Figura 4 en la que se presentan las mismas temperaturas en función de la hora local para varios días típicos del mes de junio, se observa que la tendencia en los valores de producción está en consonancia con los valores de la temperatura del agua en la batea, de la misma manera que en el mes de noviembre. En este caso los valores máximos de producción instantánea fueron de 0.25 Kg/h para una temperatura de agua en la batea de 51 °C y una producción mínima de 0.02 con valores de poco más de 20 °C en la batea. Se percibe también que en ningún momento del día la producción es nula.

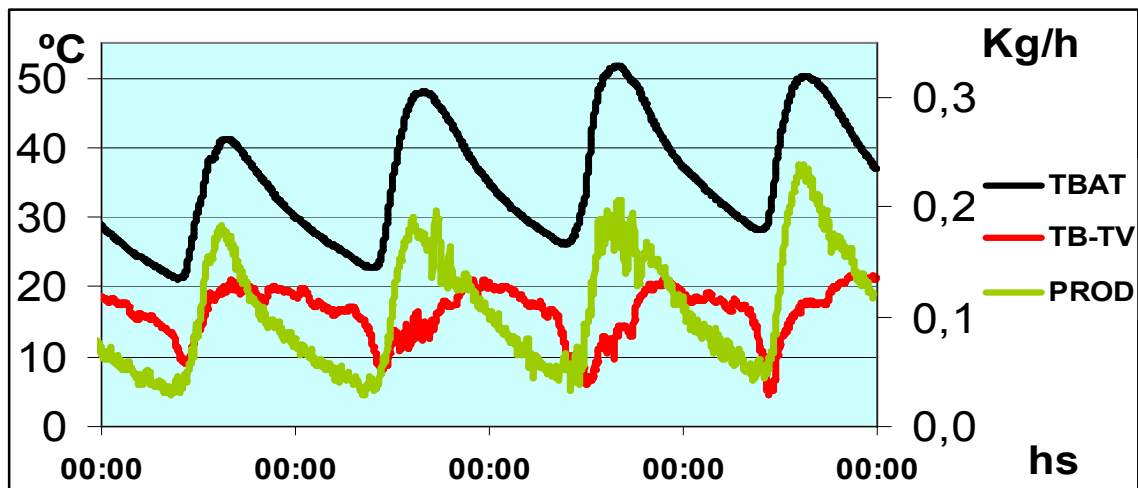


Figura 4. Producción horaria de destilado, temperaturas de agua de batea y diferencia de temperaturas vidrio-batea en función de la hora local para el mes de Junio de 2008.

En la tabla 1 se presentan los valores de radiación solar y producción de destilado para los mismos días de noviembre representados en el gráfico 3 y en la tabla 2 se muestran los valores de radiación diaria y producción para los días de junio que se presentaron en la figura 4.

En el caso de la producción diaria se nota que para valores de radiación de entre 26,05 y 28,85 MJ/día en el mes de noviembre, las producciones son de 9.2 y 10.05 Kg/día. Para el mes de Junio, con valores diarios de radiación de entre 11,41 y 12,15 MJ/día las producciones oscilan en los 4.7 y 6.7 Kg/día dependiendo de las condiciones atmosféricas reinantes como así también de los valores atmosféricos de los días anteriores.

DIA	RAD MJ/día	PROD KG/día
06/11/2009	28,85	9,66
07/11/2009	28,23	10,05
08/11/2009	22,37	8,63
09/11/2009	26,05	9,20

Tabla 1: Valores de radiación y producción Noviembre

DIA	RAD MJ/día	PROD KG/día
25/06/2008	11,41	4,70
26/06/2008	11,73	5,19
27/06/2008	11,48	5,86
28/06/2008	12,15	6,70

Tabla 2: Valores de radiación y producción Junio

Esta situación comentada anteriormente de la dependencia observada entre las producciones instantáneas respecto a la temperatura alcanzada por el agua en la batea, se comprobó también para los restantes meses observados, lo que llevó a buscar una relación entre ambos valores obtenidos experimentalmente. Los gráficos correspondientes a los meses restantes, no se presentan para no abundar en los mismos, ya que los resultados obtenidos en todos los casos permiten apreciar una muy buena repetibilidad en los valores medidos. Las ecuaciones que describen la transferencia de masa en un destilador solar están relacionadas con la diferencia de las presiones parciales de vapor entre batea y cubierta (Duffie y Beckman 1991), o en función directamente de la temperatura del agua en la batea (De Paul 2001).

RELACIONES ENTRE PRODUCCIÓN Y TEMPERATURA DE BATEA:

Se grafican en las figuras 5 al 10 las relaciones entre la producción instantánea del destilador respecto a la temperatura alcanzada por el agua de la batea durante al menos 20 días de los meses de Abril hasta Noviembre de 2008 (excepto Agosto y Septiembre), notando en todos los casos una muy buena aproximación con una función cuadrática (valores de R^2 entre 0.9545 y un mínimo 0.8334) en las cuales el coeficiente del término de segundo grado es el mismo, variando el coeficiente de primer grado así como el término independiente, lo que muestra un comportamiento similar del destilador en todos los meses, adjudicándose las variaciones a las distintas condiciones atmosféricas reinantes tanto en los meses de invierno como verano. (Temperatura ambiente, presión, humedad, viento, etc.) a dichas diferencias.

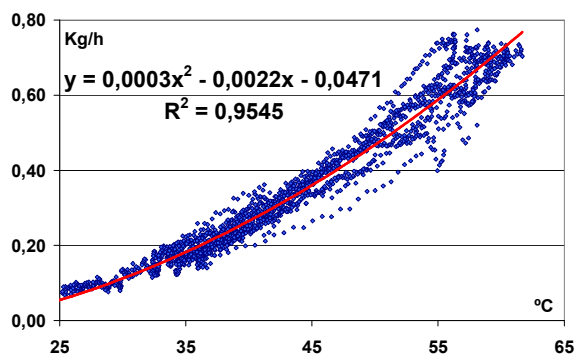


Figura 5. Producción vs. Temperatura batea Abril 08

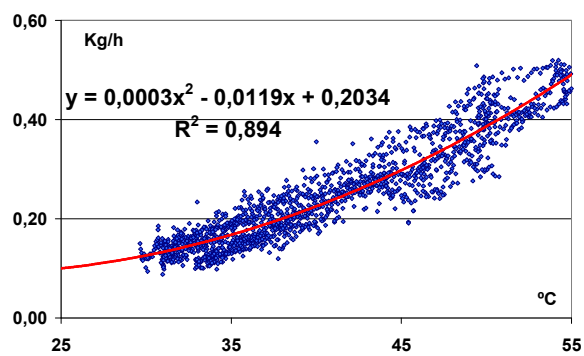


Figura 6. Producción vs. Temperatura batea Mayo 08

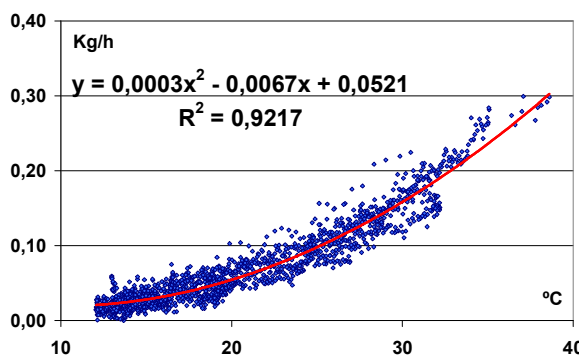


Figura 7. Producción vs. Temperatura batea Junio 08

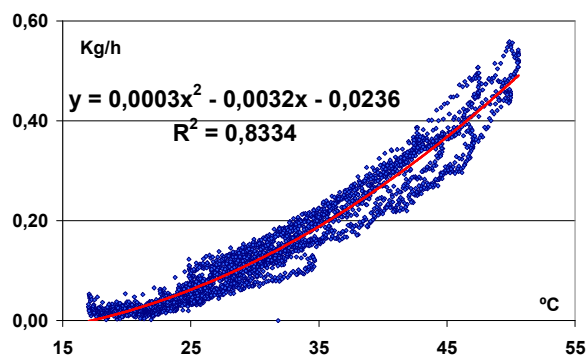


Figura 8. Producción vs. Temperatura batea Julio 08

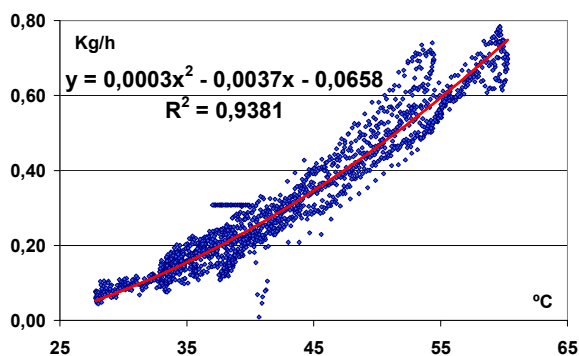


Figura 9. Producción vs. Temperatura batea Octubre 08

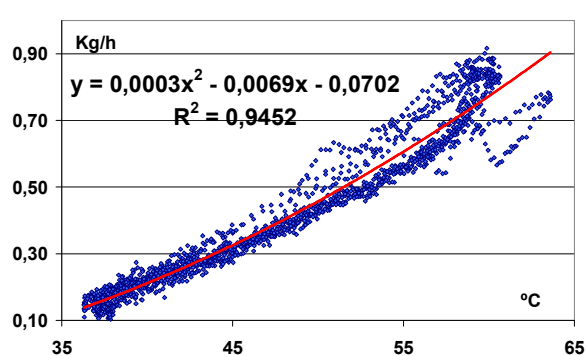


Figura 10. Producción vs. Temperatura batea Nov 08

En la figura 11 se graficaron los puntos obtenidos para los 6 meses mencionados en forma conjunta obteniéndose una expresión de segundo grado con un muy buen ajuste donde $R^2 = 0.948$. Se observa que la nube de puntos obtenidos sigue una forma definida y con escasa dispersión. A pesar de ello es de notar algunas diferencias que existen entre esta curva y las

obtenidas para cada mes en particular debido a las diferentes condiciones meteorológicas reinantes para los diferentes meses del año. El término independiente de la expresión indica que la producción no alcanzó en ningún momento de la experiencia valores nulos.

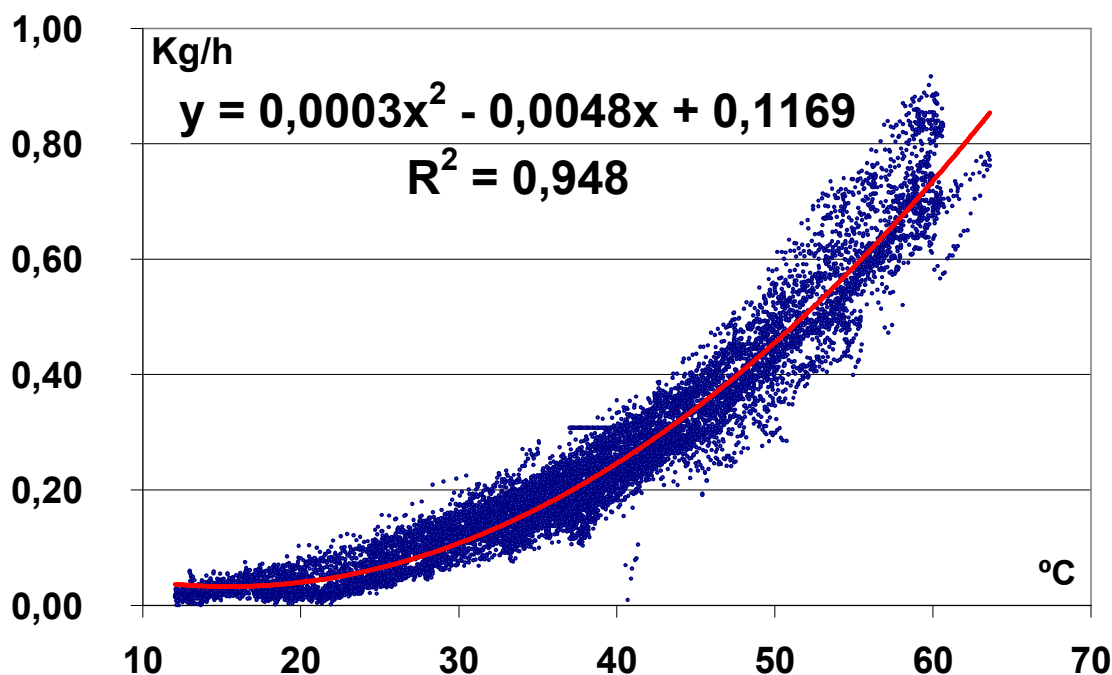


Figura 11. Producción vs. Temperatura batea durante los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Octubre y Noviembre de 2008

CONCLUSIONES:

En primer lugar podemos decir que hemos logrado representar mediante una ecuación la producción instantánea horaria de un destilador solar en función de la temperatura alcanzada por el agua de la batea. La misma es:

$$M_D = 0.003 * (T_B)^2 - 0.0048 * (T_B) + 0.116$$

En donde M_D es la masa de destilado en [Kg/h] y T_B es la temperatura del agua en la batea en [°C].

Se puede apreciar la gran ventaja, en cuanto a producción se refiere del pre calentamiento del agua a ingresar al destilador, pues algunas mediciones indicaron mas de 10 litros en un día claro del mes de Noviembre.

En nuestros ensayos la producción nocturna no llega a ser nula para este destilador y mas aún, hay casos sobre todo en los meses de invierno en que la misma es mayor que la producción diaria.

Se puede pensar que manteniendo la temperatura del agua en la batea en 60 o 70 °C o aún incrementándola por medios alternativos durante las 24 hs del día se lograrían valores muy importantes en la producción. Este trabajo se está llevando a cabo en nuestro laboratorio entregando energía adicional con resistencias eléctricas para ser presentado en futuras reuniones.

REFERENCIAS:

- Ben Bacha H., Dammak T. Ben Abdalah A.A., Maalej A. Y.,(2007) Desalination unit coupled with solar collectors and a storage tank: modelling and simulation. Desalination, vol 206, 341-352.
- De Paul I. (2001); Comportamiento de un destilador tipo batea con pendiente alta en las cubiertas; AVERMA, Vol. 5, pp. 03.7 a 03.12
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición. Wiley Interscience, New York.
- Ducculi E., Marchesi J., Adaro J., Fasulo A. (2008) . Simulación numérica de un destilador solar asistido con colector solar acumulador. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol 12 149-156
- Esteban C., J.Franco y A.Fasulo (2000) - Destilador Solar Asistido con Colector Solar Acumulador. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4 pp 39-41
- Esteban C., J.Franco and A. Fasulo (2002).- Solar Distiller Assisted by Solar Collector accumulator. proceeding of EuroSun 2002, Bologna, Italia.
- Fasulo A. Follari, J. and Barral, J. (2001). Comparison between a simple solar collector accumulator and conventional accumulator, Solar Energy, vol 71, 389-401

- Fasulo A., J. Adaro, J. Marchesi y J. Follari (2004). Destiladores solares con espejos, Trabajo publicado en actas del XII Congreso Ibérico y VII Iberoamericano de Energía Solar, Vigo, España, septiembre de 2004. ISBN CD 84-609-2264-2.
- Fasulo A. , J Follari , J Adaro ,J Marchesi ,L Odicino y R Monasterollo (2004) Planta de Destilación Solar-Eléctrica en la U.N.S.L. Actas de la 27ª Reunión de trabajo de ASADES y 13ª de IASEE-Vol 8 pp 03 .07-10
- Marchesi J., Ducculi E., Adaro A., Fasulo A., (2007). Sistematización de las mediciones de producción y temperaturas de destiladores solares en la UNRC. Avances en Energía Renovable y Medio Ambiente Vol 11 pp 03.123-129. ISSN 0329-5184
- Tanaka Hiroshi, Yasuhito Nakatake (2007), Effect of inclination of external plate reflector of basin type still in winter. Solar Energy, vol 81, 1035-1042.
- El-Swify M.E., Metias M.Z.(2002), Performance of double exposure solar still. Solar Energy, vol 26, 531-547.
- Voropoulos, K, E. Mathioulakis, V. Belessiotis.(2003). Solar stills coupled with solar collectors and storage tank—analytical simulation and experimental validation of energy behavior. Solar Energy, vol 75, 199-205.
- Voropoulos, K, E. Mathioulakis, V. Belessiotis.(2004). A hybrid solar desalination and water heating system. Solar Energy, vol 164, 189-195.

ABSTRACT: This paper shows experimental performance of a solar still, which have basins assistance by means of auxiliary solar heaters. The performances of these equipments were evaluated during six months, instantaneous and total daily distilled one, the ambient temperature, the water in the basin and in the cover temperatures, , and also the solar radiation were measured. These equipments, built in the experimental plant of solar distillation that the group of solar power G.E.S. the National University of Río Cuarto. The above mentioned information was evaluated allowing to estimate clearly the oscillations of the production and comparing with the temperatures in the still. This information allowed to determine an expression for the calculation of the production depending on the temperature of the water in the basin. These results are presented by the above mentioned expression and the corresponding graphs.

Keywords: Desalination, Solar distillation, Assisted stills, Production.